



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10333599 A**(43) Date of publication of application: **18.12.98**

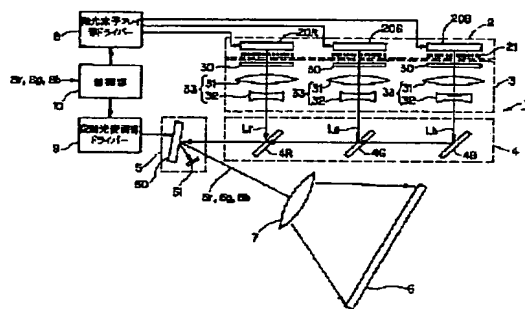
(51) Int. Cl. **G09F 9/00**
G03B 21/00
H04N 5/74
H04N 9/31

(21) Application number: **09138163**(71) Applicant: **FUJI XEROX CO LTD**(22) Date of filing: **28.05.97**(72) Inventor: **KAMIYANAGI KIICHI**(54) **PROJECTOR DEVICE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-size projector device having high availability of light, a bright display picture, low power consumption and long life of a light source.

SOLUTION: After three primary color light Lr, Lg, Lb of R, G, B that a light emitting element array part 2 emits time-sequentially are shaped to parallel light by a shaping optical system 3, and are synthesized by a synthetic optical system 4 to be made incident on a two-dimensional micro deflection mirror array 50, and space modulation are performed time-sequentially by the two-dimensional micro deflection mirror array 50 according to image signals Sr, Sg, Sb of receptive colors, and they are expanded and projected on a screen 6 by a projection optical system 7.



COPYRIGHT: (C)1998,JPO

Title of the Prior Art

Japanese Published Patent Application No.Hei.10-333599

Date of Publication: December 18, 1998

Concise Statement of Relevancy

Translation of Paragraphs [0032], [0037], [0044] , Figures 1 and 6

[0032]

Next, an effect of the projection apparatus 1 related to the first embodiment will be explained.

(A) The light use efficiency is improved and a bright display screen can be achieved.

Since light sources of the respective R, G and B colors are used, color separation is not required, and light loss during color separation can be avoided. Accordingly, a product between light collection efficiency and color synthesis efficiency can be increased to 0.77, which is more than three times higher than that of the conventional light source. Further, projection efficiency of the projection optical system 7 can be increased to more than 85 % since lights can be collected with good directivity. From this result, since the light transmission efficiency in the optical system of the apparatus 1 is 90% at the light emitting element array unit 2 and the optical shaping unit 3, and 85% at the optical synthesis system 4, and the reflection ratio of the two-dimensional micro polarization mirror array 50 is 90%, and 85 % at the optical projection system 7, the total light use efficiency is improved to about 58 %, which is more than about six times higher than the conventional one. Further, since the wave lengths, the chromaticity coordinates,

and the pulse light outputs of output lights from the LEDs 22 of R, G and B are 650 nm : (0.7, 0.28) : 30 mW, 520 nm : (0.7, 0.28) : 10.5 mW, and 450 nm : (0.13, 0.75) : 6 mW, respectively, the chromaticity coordinate of the synthesis white light is (0.36, 0.37) which provides a slightly yellowish white color, whereby brightness of about 650lm is obtained for all alleys 20R, 20G and 20B, and brightness of 380lm is obtained as the image signal lights 5r, 5g and 5b which are projection beams. In addition, the center of the chromaticity coordination can be changed by slightly changing the illumination time of the LED 22 of R, G or B. For example, the center of the chromaticity coordination can be shifted to (0.33, 0.33) by increasing the time illumination of the B light.

[0037]

Figure 6 illustrates a projection apparatus related to a second embodiment of the present invention. In projection apparatus 1 according to the second embodiment, surface emitting laser (VCSEL) alleys 24R, 24G and 24B which emit linearly polarized red laser L_r' , green laser L_g' and blue laser L_b' , respectively, are used as the light emitting element array unit 2, and an expansion optical device 34 is used as the optical shaping system 3, and the rest is constituted as in the first embodiment.

[0044]

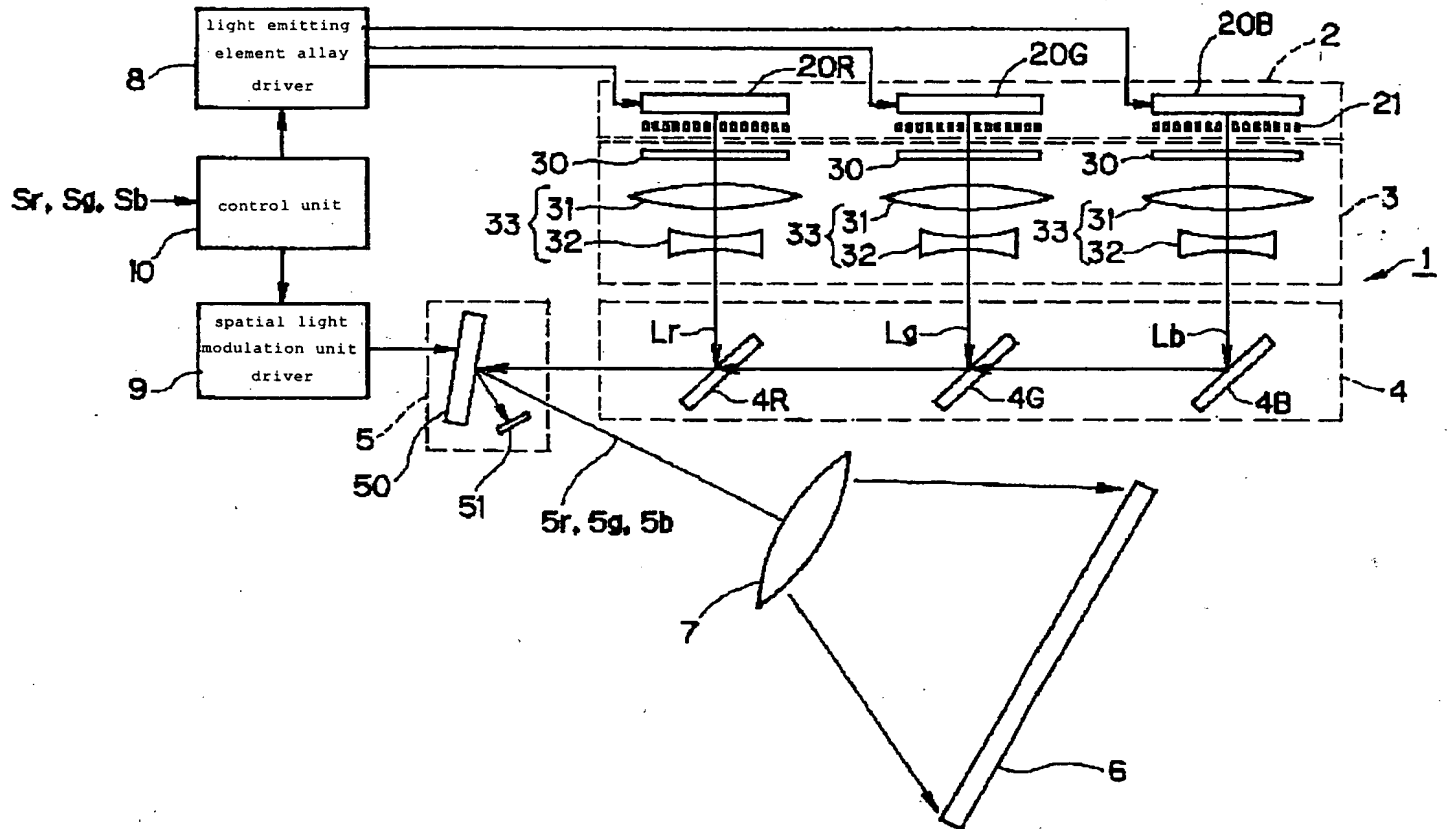
Next, an effect of the projection apparatus 1 related to the second embodiment will be explained.

(A) The light use efficiency is improved and a bright display screen can be obtained.

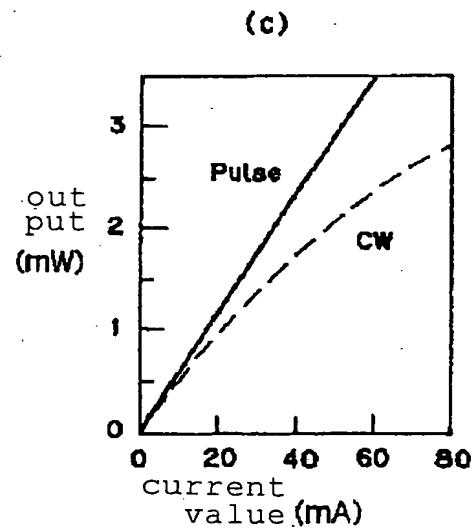
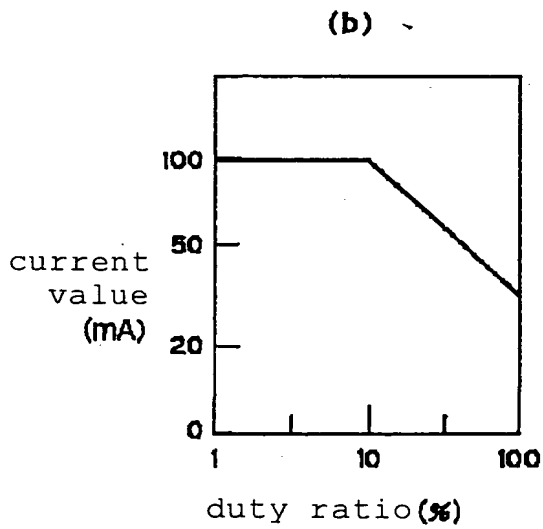
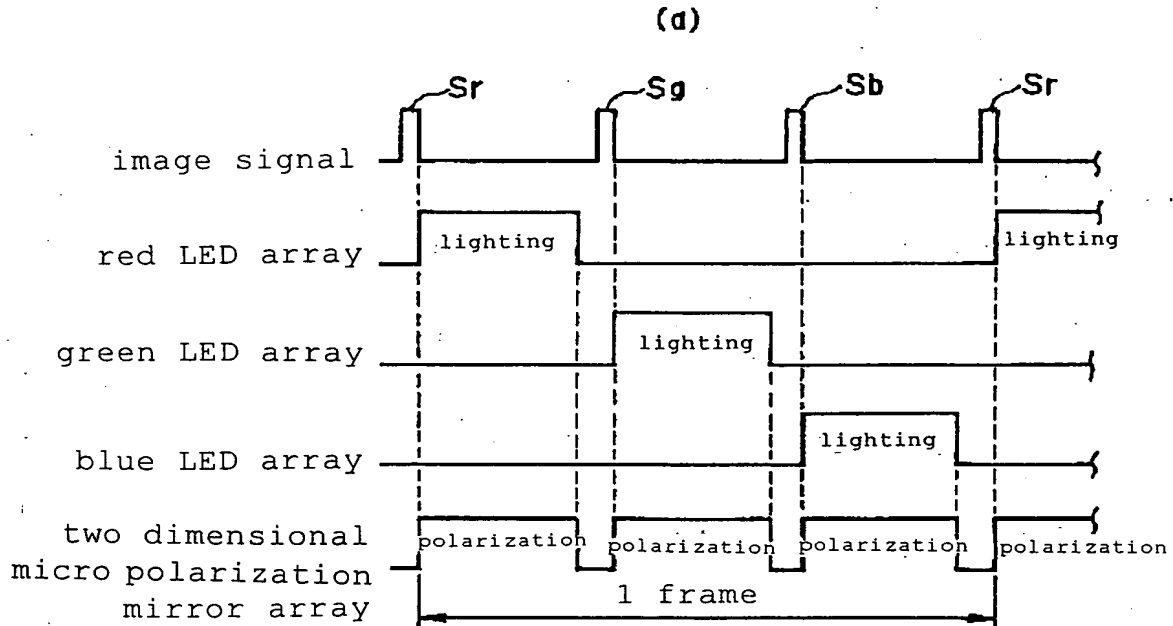
The light transmission efficiency in the optical system of

the apparatus 1 is 90% at the VCSEL alleys 24R, 24G and 24B and the optical shaping unit 3, and 85% at the optical synthesis system 4, and the reflection ratio of the two-dimensional micro polarization mirror array 50 is 90%, and 85 % at the optical projection system 7, and therefore, the total light use efficiency is about 58% as in the first embodiment. Further, since the wave lengths, the chromaticity coordinates, and the pulse light outputs of output lights from the VCSEL elements of R, G and B are 650nm : (0.7, 0.28) : 30mW, 520nm : (0.17, 0.7) : 30mW, and 450nm : (0.13, 0.75) : 30mW, respectively, the chromaticity coordinate of the synthesis white light is (0.34, 0.35) which provides a white color close to the standard, whereby brightness of 1200lm is obtained at the VCSEL alleys 24R, 24G and 24B, and brightness of 700lm is obtained as the image signal lights 5r, 5g and 5b which are projection beams. The light output of the VCSEL is restricted by multibeaming in the horizontal mode as well as by influence of heat emission. The reason is as follows. With an increase in the light output, supply of carriers to the center of the beam becomes insufficient, and the gain in this part becomes lower than the gain in the peripheral parts, and the high-order horizontal mode having higher light intensity in the peripheral parts is more likely to be oscillated.

[Figure 1]



[Figure 6]



(51) Int.Cl.⁶

G 0 9 F 9/00
G 0 3 B 21/00
H 0 4 N 5/74
9/31

識別記号

3 6 0

F I

G 0 9 F 9/00
G 0 3 B 21/00
H 0 4 N 5/74
9/31

3 6 0 A
D
Z
C

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願平9-138163

(22) 出願日

平成9年(1997)5月28日

(71) 出願人 000005496

富士ゼロックス株式会社
東京都港区赤坂二丁目17番22号

(72) 発明者 上柳 喜一

神奈川県足柄上郡中井町境430 グリーン
テクなかい富士ゼロックス株式会社内

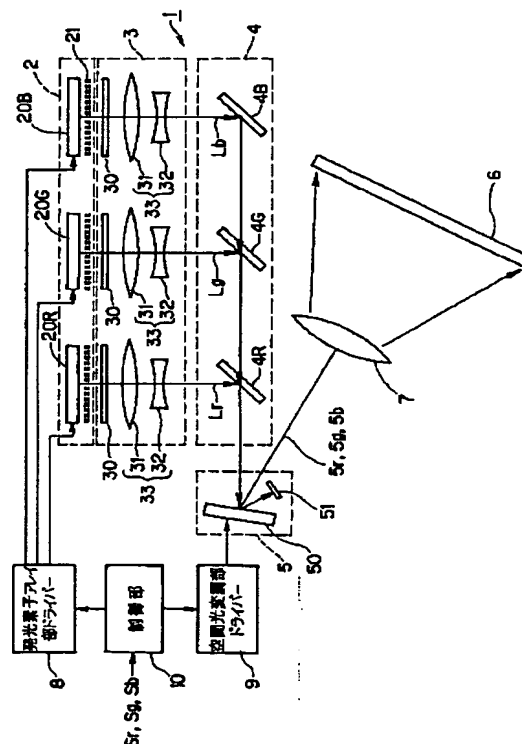
(74) 代理人 弁理士 平田 忠雄

(54) 【発明の名称】 プロジェクタ装置

(57) 【要約】

【課題】 光利用効率が高くて表示画面が明るく、小型・低消費電力で光源寿命の長いプロジェクタ装置を提供する。

【解決手段】 発光素子アレイ部2が時系列的に発光したR、G、Bの3原色光L_r、L_g、L_bは、整形光学系3によって平行光に整形され、合成光学系4で合成された後、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50に入射し、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50によって各色の画像信号S_r、S_g、S_bに応じて時系列的に空間変調が施され、投影光学系7によってスクリーン6に拡大投影される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の半導体発光素子からなり、異なる色の複数の出力光を時系列的に射出する複数の発光素子アレイと、

前記複数の発光素子アレイから射出された前記複数の出力光を平行光に整形する整形光学系と、

前記整形光学系からの前記平行光に前記異なる色の画像信号に応じた空間変調を施して複数の画像信号光を時系列的に出力する単一の空間光変調手段と、

前記空間光変調手段からの前記複数の画像信号光をスクリーンに投影する投影光学系を備えたことを特徴とするプロジェクタ装置。

【請求項2】前記複数の発光素子アレイは、赤色、緑色および青色の前記複数の出力光を射出する構成の請求項1記載のプロジェクタ装置。

【請求項3】前記発光素子アレイは、前記複数の半導体発光素子を1次元あるいは2次元に配列した構成の請求項1記載のプロジェクタ装置。

【請求項4】前記発光素子アレイは、面発光レーザダイオードアレイを用いた構成の請求項1記載のプロジェクタ装置。

【請求項5】前記発光素子アレイは、発光ダイオードアレイを用いた構成の請求項1記載のプロジェクタ装置。

【請求項6】2次元に配列された前記複数の半導体発光素子は、前記空間光変調手段における前記空間変調の水平および垂直のブランキング期間に消灯される構成の請求項3記載のプロジェクタ装置。

【請求項7】2次元に配列された前記複数の半導体発光素子は、縦横比を前記スクリーンに投影される画面の縦横比と同程度とした構成の請求項3記載のプロジェクタ装置。

【請求項8】2次元に配列された前記複数の半導体発光素子は、行単位で直列に接続され、かつ、各行が並列に接続された構成の請求項3記載のプロジェクタ装置。

【請求項9】前記発光素子アレイは、前記複数の面発光レーザ素子を1次元あるいは2次元に配列した面発光レーザダイオードアレイであり、前記複数の面発光レーザ素子の陽陰両電極の少なくとも一方を行単位で直列に接続し、かつ、各行を並列に接続した構成の請求項1記載のプロジェクタ装置。

【請求項10】前記整形光学系は、前記複数の半導体発光素子の前記出力光を均一な光強度分布を有する前記平行光に整形する構成の請求項1記載のプロジェクタ装置。

【請求項11】前記整形光学系は、前記発光素子アレイの前面に前記複数の半導体発光素子に対向するように配置され、前記複数の半導体発光素子から射出された前記複数の出力光を前記平行光に整形する複数のマイクロレンズによって構成される請求項1記載のプロジェクタ装置。

【請求項12】前記整形光学系は、主として2つのレンズにより前記複数の半導体発光素子から射出された前記複数の出力光を拡大あるいは縮小して前記平行光に整形する構成の請求項1記載のプロジェクタ装置。

【請求項13】前記空間光変調手段は、透過型若しくは反射型の液晶空間光変調器、又は2次元光偏向ミラーアレイを用いた構成の請求項1記載のプロジェクタ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、単一の2次元の空間光変調器を用いて多階調の画像を投影するプロジェクタ装置に関し、特に、光利用効率が高くて表示画面が明るく、小型・低消費電力で光源寿命の長いプロジェクタ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】昨今、高精細テレビ(HDTV)等の出現やパーソナルコンピュータの普及とそのマルチメディア化により、複数人で使用する数十インチから200インチの高精細・大画面の画像表示と小型・軽量化への要求が高まってきており、それに向けた各種方式の製品が開発されてきている。この要求に対応するものとして、従来より、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ、発光ダイオードディスプレイ等の平面ディスプレイがある。

【0003】液晶ディスプレイは、近年、14インチの卓上型から大型化が進み、液晶空間光変調器を2枚張り合わせた25インチのものも発表されている。しかし、液晶ディスプレイの場合、液晶空間光変調器を作製するプロセスが複雑で長く、大型のものができない、高価格となる等の本質的な問題があり、数十インチ以上の大型化は難しく、なされたとしても数枚の液晶空間光変調器を張り合わせて作られるため、そのつなぎ目が問題となる外、高価格となることは否めない。

【0004】プラズマディスプレイは、上記液晶ディスプレイに対抗する大画面ディスプレイとして、最近出現し注目を集めている。それは、プラズマディスプレイは、構造が簡単で、作製プロセスが短く、大画面のものが作り易いこと、プラズマからの紫外光による励起に適した蛍光体の開発により、色再現性の良いディスプレイが可能になったこと等による。しかし、プラズマディスプレイの場合、発光効率が悪いため、40インチでも300W程度の大入力が必要である、放電電圧が200～300Vと高いため、高耐圧の駆動回路が必要となる等の問題がある。また、平面ディスプレイといっても実際には筐体も含めて10センチ程度の厚さとなり、重量も40インチ程度で数十キログラムと重く、壁掛け型として使用するには特別の工事が必要となる。

【0005】発光ダイオードディスプレイは、近年開発された高輝度・高効率の緑色や青色の発光ダイオードと、既存の高効率の赤色発光ダイオードとを組み合わせ

て画素を構成したものが開発されている。この場合、1画素を3つの発光ダイオードで構成するため、通常のパソコン程度の画素数(480×600)でも約90万個の発光ダイオードが必要となる。従って、将来発光ダイオードの価格が1個10円程度に下がったとしても、発光ダイオードのコストだけでも1千万円程度と高価格になり、家庭や小会議室で用いるには不向きである。

【0006】上述した平面ディスプレイの有する問題を回避するものとして、プロジェクタ装置が知られている。このプロジェクタ装置は、従来より、光源や空間光変調器、3原色分離合成用光学系等の種類により種々のタイプのものが開発されており、空間光変調器としては、透過型あるいは反射型の液晶空間光変調器や、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ等の各種のものがある。このプロジェクタ装置では、画像表示部として画像光を投影するスクリーンないし白色の壁があればよく、像表示部は軽量にできる、また、使用場所の広さに応じて画面サイズを自由に変えられる等の利点がある。また、空間光変調器で形成された画像光を投影レンズを用いて数十倍に拡大投影するため、空間光変調器自体は2～3インチと通常のディスプレイに比べて非常に小型のものでよく、低価格化の可能性を内包した装置であると言える。

【0007】図9は、従来のプロジェクタ装置として空間光変調器に単一の2次元マイクロ偏向ミラーアレイを用いたものを示す(Projection Display, P. 193, 1996: Proceedings of SPIE, Vol. 2650)。このプロジェクタ装置100は、白色光を発光するキセノンランプ、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ等のランプ101、およびこのランプ101の出力光を一旦集光した後、所定の方向に反射する放物線状のリフレクタ102からなる光源部103と、光源部103の出力光から赤外成分を取り除くコールドミラー104と、コールドミラー104からの光を回転フィルター板105に取り付けられた赤、緑、青(R, G, Bと略す。)3色のフィルター105r, 105g, 105b上に集光する集光レンズ106と、フィルター105r, 105g, 105bによって色分離されたR, G, Bの3色光Lr, Lg, Lbを折り返しミラー108に導くリレイレンズ107と、折り返しミラー108からのR, G, Bの3色光Lr, Lg, Lbを偏向してR, G, B3色の画像信号光109r, 109g, 109bを出力する2次元マイクロ偏向ミラーアレイ109と、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ109からの画像信号光109r, 109g, 109bと折り返しミラー108からのR, G, Bの3色光Lr, Lg, Lbとを分離する全反射プリズム110と、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ109からの画像信号光109r, 109g, 109bを図示しないスクリーンに投影する投影レンズ111とを備えている。

【0008】このプロジェクタ装置100において、光源部103の出力光103aは、コールドミラー104で赤外成分が取り除かれた後、集光レンズ106によって集光され、回転フィルター板105のR, G, B3色のフィルター105r, 105g, 105bを透過する。回転フィルター板105の回転速度は、画像のフレーム表示速度に等しく、毎秒60回転である。その1回転の間に、回転フィルター板105の透過光(103a)は、フィルター105r, 105g, 105bによってR, G, Bの3色光Lr, Lg, Lbに時分割的に色分離され、折り返しミラー108および全反射プリズム110を介して2次元マイクロ偏向ミラーアレイ109に入射する。2次元マイクロ偏向ミラーアレイ109に入射したR, G, Bの3色光Lr, Lg, Lbは、各色の画像信号に基づいて偏向され、画像信号光109r, 109g, 109bとして形成される。この画像信号光109r, 109g, 109bは、投影レンズ111によって図示しないスクリーンに投影される。ところで、R, G, Bのフィルター105r, 105g, 105bの面積比率は、R, G, B光の強度により若干異なるが、R, G, B光それぞれの持続時間は平均5.6ミリ秒である。2次元マイクロ偏向ミラーアレイ109中の各マイクロ偏向ミラーの偏向時定数は、5マイクロ秒と上記の持続時間の1/1000であり、マイクロ偏向ミラーの偏向時間の調節により、R, G, Bそれぞれ8ビット以上の階調を付けることが可能である。このように単一の2次元マイクロ偏向ミラーアレイ109を用いることにより、部品点数が少なく、小型で、低価格化が望め、家庭用の表示装置として適したプロジェクタ装置を実現することができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のプロジェクタ装置100によると、以下の問題がある。

【0010】(1) 光利用効率が悪い。光源としてキセノンランプやハロゲンランプ、メタルハライドランプが使用されているため、光源の寿命が短い上にオンオフ変調ができないので連続点灯をすることになる。また、上記のように時分割でR, G, B光の変調を行うため、R, G, B光は、それぞれ他の色光を変調している間はフィルター105r, 105g, 105bでカットされる。このため、光利用効率はその分低下し、3つのマイクロ偏向ミラーアレイを用いてR, G, B光を個別に変調する方式に比べて約1/3に減少する。一方、プロジェクタ装置に使用されるハロゲンランプやキセノンランプ等の光源は放電のための数センチ大のガラス球内に封じ込められており、リフレクタのサイズはそれに制限されて、あまり小さくできないため、この出力光を10～20mサイズの平行光に整形した時の集光効率は低く、50%以下である。また、偏向ミラーにはアルミが使用されているが、反射率は90%であるが、他の光学系でのげられや

吸収を考慮すると、総合の光利用効率は10%と小さくなる。また、メタルハライドランプの場合、R色のスペクトルの光強度は弱いため、カラーバランスを良くしようとすると、他のG色、B色のスペクトルの光強度を減じなければならず、さらに利用効率は低下する。現在開発されている単板型のマイクロ偏向ミラーアレイを用いたプロジェクタ装置の投影光束は、光源電気入力300Wとしてもせいぜい300lm程度であり、発光効率が悪い。

【0011】(2) 消費電力が大きく、装置が大型になる。光利用効率が悪いことから、メタルハライドランプのように高輝度の光源を使用しなければならず、そのために消費電力が300Wと大きくなり、電源部の大型化に伴い、プロジェクタ装置も大型になる。

【0012】(3) ランプの寿命が短く、頻繁なランプ交換が必要となる。光源としてキセノンランプやハロゲンランプ、メタルハライドランプが使用されているため、光源の寿命が短い上にオンオフ変調ができないので連続点灯をすることになることから、頻繁なランプ交換が必要となる。例えば、メタルハライドランプの場合では、中心強度が50%低下するまでの時間で評価して1000時間である(照明学会誌、第77巻、第12号、P. 748、平成5年)。これは8時間/日の使用頻度で4か月程度の寿命となり、頻繁なランプ交換が必要となる。しかし、ランプ表面は高温となるため、わずかでも汚れがあるとランプが爆発する危険がある、ランプに位置ずれがあると集光効率が下がったり、画質が低下する等の問題があり、素人によるランプ交換は難しく、専門の技術者が取り替えている状況である(たとえば100万台普及したとすると、1日に10万件のランプ交換が発生し、1万人以上の技術者が必要となる)。

【0013】(4) その他

回転フィルター板105の透過光のうち表示に利用されない光はフィルター105r、105g、105bに吸収され、このときの熱でフィルター105r、105g、105bや装置100内が加熱され、装置の信頼性を低下させる、空冷用のファンが必要となる等の問題がある。

【0014】これらのことが、高価格であることの外に、プロジェクタ装置が家庭や小会議室等になかなか普及しないことの大きな原因である。

【0015】従って、本発明の目的は、光利用効率の向上を図り、表示画面の明るいプロジェクタ装置を提供することにある。また、本発明の他の目的は、低消費電力化を達成でき、小型化を図ったプロジェクタ装置を提供することにある。また、本発明の他の目的は、光源の長寿命化を図ったプロジェクタ装置を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達

成するため、複数の半導体発光素子からなり、異なる色の複数の出力光を時系列的に出射する複数の発光素子アレイと、前記複数の発光素子アレイから出射された前記複数の出力光を平行光に整形する整形光学系と、前記整形光学系からの前記平行光に前記異なる色の画像信号に応じた空間変調を施して複数の画像信号光を時系列的に出力する単一の空間光変調手段と、前記空間光変調手段からの前記複数の画像信号光をスクリーンに投影する投影光学系を備えたことを特徴とするプロジェクタ装置を提供する。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の第1の実施の形態に係るプロジェクタ装置を示す。このプロジェクタ装置1は、R(赤)、G(緑)、B(青)の3原色光Lr、Lg、Lbを時系列的に発光する発光素子アレイ部2と、発光素子アレイ部2からの3原色光Lr、Lg、Lbを平行光に整形する整形光学系3と、平行光に整形された3原色光Lr、Lg、Lbを合成する合成光学系4と、合成された3原色光Lr、Lg、Lbに各色の画像信号Sr、Sg、Sbに応じて反射光量に変化する処理(空間変調)を時系列的に施してR、G、Bの画像信号光5r、5g、5bとして出力する空間光変調部5と、空間光変調部5からのR、G、Bの画像信号光5r、5g、5bを時系列的にスクリーン6に拡大投影する投影レンズの如き投影光学系7と、発光素子アレイ部2を駆動する発光素子アレイ部ドライバー8と、空間光変調部5を駆動する空間光変調部ドライバー9と、R、G、Bの画像信号Sr、Sg、Sbに基づいて発光素子アレイ部ドライバー8および空間光変調部ドライバー9を制御する制御部10とを具備し、この第1の実施の形態では、発光素子アレイ部2に半導体発光素子としての発光ダイオード(以下「LED」という。)を用いている。

【0018】発光素子アレイ部2は、赤色光Lrを発光する赤色LEDアレイ20Rと、緑色光Lgを発光する緑色LEDアレイ20Gと、青色光Lbを発光する青色LEDアレイ20Bと、各LEDアレイ20R、20G、20Bの前面にそれぞれ配置されたマスク21とを備えている。

【0019】整形光学系3は、発光素子アレイ部2からの3原色光Lr、Lg、Lbを平行光に整形する2次元のマイクロレンズアレイ30と、マイクロレンズアレイ30によって整形された3原色光Lr、Lg、Lbを空間光変調部5の後述する2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50の画素範囲に対応して縮小する、凸レンズ31および凹レンズ32を組み合わせで構成された縮小光学器33とを備えている。なお、マイクロレンズアレイ30の代わりに、ガラス等の透明媒体からなる微小な凹凸面を有するホモジナイザ等を用いてもよい。この場合は、LEDアレイ20R、20G、20Bからの入射光が微

小凹凸面により散乱され、この微小凹凸面が2次的な光源面として機能し、この散乱光は縮小光学器33によって平行光に整形される。

【0020】合成光学系4は、発光素子アレイ部2からの赤色光 L_r を反射するとともに、ダイクロイックミラー4Bからの青色光 L_b およびダイクロイックミラー4Gからの緑色光 L_g を透過させるダイクロイックミラー4Rと、発光素子アレイ部2からの緑色光 L_g を反射するとともに、ダイクロイックミラー4Bからの青色光 L_b を透過させるダイクロイックミラー4Gと、発光素子アレイ部2からの青色光 L_b を反射するダイクロイックミラー4Bとからなる。

【0021】空間光変調部5は、ダイクロイックミラー4R、4G、4Bからの3原色光 L_r 、 L_g 、 L_b に空間変調を画素毎に施す2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50と、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50に入射したR、G、Bの3原色光 L_r 、 L_g 、 L_b の無効反射光を受光するストッパー51とを備えている。

【0022】次に、発光素子アレイ部2および整形光学系3の詳細について図2および図3を参照して説明する。

【0023】図2は、LEDの出力光の指向性を示し、図3は、発光素子アレイ部2と整形光学系3との関係を示す。各LEDアレイ20R、20G、20Bは、共に、図2に示すような出力光の光量分布22aを有したサイズ3mmφのLED22を図3に示すように基板23上に配列ピッチ4mmで2次元に192(12×16)個配列し、アレイサイズを約48×64mmとし、LED22を行単位(16個)で直列に配線し、かつ、各行を並列に配線したものである。LED22を2次元に配列することにより、必要な光束を得ることができる。また、各LEDアレイ20R、20G、20Bのサイズの縦横比を3:4とし、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50の画素範囲と合わせることで、光利用効率をさらに高めることができる。半導体発光素子(ここではLED22)の出力光は、指向性が強く、発光部面積も小さいため、集光効率が高くなる。また、半導体発光素子のスペクトル幅が数十nm以下と比較的狭い単色光を出力するので、色合成効率が高くなる。

【0024】マスク21は、図3に示すように、開口部21aによって各LED22の出力光22aのうち周辺部をカットし、中心部の出力光22bのみを透過させるように構成されている。

【0025】マイクロレンズアレイ30は、図3に示すように、LEDアレイ20R、20G、20Bの各LED22の光軸と一致するように正方形の複数のマイクロレンズ30aを隙間なく2次元に配列し、各マイクロレンズ30aの焦点距離をLEDアレイ20R、20G、20Bとマイクロレンズアレイ30との距離 D_1 にほぼ等しくしている。また、マイクロレンズアレイ30の各

マイクロレンズ30aの開口数 W をLED22の中心部の出力光22bの広がり角(約30度) θ に対応させている。これにより、LED22の出力光22bは、ほぼ均一な光強度分布を有する平行光30bとなる。

【0026】図4は、縮小光学器33の詳細を示す。縮小光学器33は、マイクロレンズアレイ30の各マイクロレンズ30aからの平行光30bを凸レンズ31と凹レンズ32によって縮小し、平行光33aとしてダイクロイックミラー4R、4G、4Bを介して2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50に入射するようになっている。縮小光学器33の縮小率は、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50のサイズとLEDアレイ20R、20G、20Bのサイズの比率より若干小さい値(例えば、0.16/1)とする。これにより、マイクロレンズアレイ30からの平行光30bを再度平行光33aとして2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50にほぼ均一に照射することができる。

【0027】図5は、空間光変調部5の詳細を示す。2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50は、16μm程度の正方形の複数のマイクロ偏向ミラー52を半導体基板53上にピボット54によって2次元アレイ状に配列して構成されている。ここでは、画素数(ミラー数)480×640ドット、画素範囲約7.7×10.2mmのものをを用いる。各マイクロ偏向ミラー52は、空間光変調部ドライバー9の駆動によって半導体基板53にアレイ状に形成されたトランジスタ(図示省略)がオンして発生する静電力に基づいて偏向し、LEDアレイ20R、20G、20Bからの3原色光 L_r 、 L_g 、 L_b を有効反射光とする場合は、マイクロ偏向ミラー52は図5の実線で示す状態に配置され、3原色光 L_r 、 L_g 、 L_b を投影光学系7に順次反射し、無効反射光とする場合は、マイクロ偏向ミラー52は図5の破線で示す状態に配置され、3原色光 L_r 、 L_g 、 L_b をストッパー51に順次反射するようになっている。また、各マイクロ偏向ミラー52は、制御部10の制御に基づく空間光変調部ドライバー9の駆動によってR、G、Bの画像信号 S_r 、 S_g 、 S_b を構成する画素信号の大きさに応じて投影光学系7への反射時間(最大で4.5ミリ秒、最小で17.6マイクロ秒)が制御され、反射光量が256階調(8ビット)で変化するようになっている。

【0028】図6(a)は、本装置1各部の動作タイミング、同図(b)は、LED22の印加可能電流のパルスデューティ比に対する依存性を示し、同図(c)は、LED22の入力電流に対する出力特性を示す。制御部10は、同図(a)に示すように、R、G、Bの画像信号 S_r 、 S_g 、 S_b が入力されると、その入力タイミングに同期して1フレーム間にLEDアレイ20R、20G、20Bが所定のデューティ比(約1/3)で時系列的に点灯するように発光素子アレイ部ドライバー8に対する点灯制御を行うとともに、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50

0が時系列的に偏向を行うように空間光変調部ドライバー9に対する光量制御を行うものである。この光量制御により多階調（フルカラー）の画像表示が可能になる。また、制御部10は、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50における水平および垂直ブランキング期間は、LEDアレイ20R、20G、20Bを消灯するように発光素子アレイ部ドライバー8を制御するようになっている。

【0029】図6(b)から明らかなように、デューティ比を100%（連続入力（CW））から約1/3に下げること、印加可能電流を2.5倍に増加させることができ、出力もこれに比例して3倍あるいはそれ以上に増加させることができる。これは、LED22の印加電流および出力は、主に発熱量で制限されているため、印加可能電流を点灯時間に逆比例して増加させることができ、出力もこれに比例してあるいはそれ以上に増加させることができるからである。

【0030】また、図6(c)から明らかなように、入力電流に対する出力は、CWの場合（破線）入力電流の増加に連れて飽和傾向を示すのに対して、パルス入力の場合（デューティ比30%）には60mAまで入力電流に比例して増加する。LED22の定格電流値はCWの場合20mA程度である。従って、デューティ比を30%程度に下げることにより、出力は3倍以上に増加できる。言い換えると、時系列的にR、G、B光を分割しても総出力はCWの場合と同程度以上にできることが分かる。さらに、画像フレームの水平および垂直のブランキング期間の間に全LED22を消灯することにより、さらにパルス光出力の増加が可能となる。NTSC信号の場合、ブランキング期間は全体の20%であるが、この間は全LED22の消灯が可能なので、それぞれのLED22のデューティ比は27%まで下げられ、この結果、パルス電気入力にCWの場合の約3倍、出力は約3.5倍にでき、光利用効率をさらに高めることができる。

【0031】次に、上記構成の第1の実施の形態に係るプロジェクタ装置1の動作を説明する。制御部10は、各色の画像信号Sr、Sg、Sbに同期して発光素子アレイ部ドライバー8を制御し、各LEDアレイ20R、20G、20Bを時系列的に点灯させる。すなわち、制御部10は、図6(a)に示すように、Rの画像信号Srが入力されると、赤色LEDアレイ20Rを点灯させ、Gの画像信号Sgが入力されると、緑色LEDアレイ20Gを点灯させ、Bの画像信号Sbが入力されると、青色LEDアレイ20Bを点灯させる。各LEDアレイ20R、20G、20Bで発光した赤色光Lr、緑色光Lgおよび青色光Lbは、マスク21によって周辺部がカットされた後、整形光学系3のマイクロレンズアレイ30を構成するマイクロレンズ30aによって平行光に整形され、縮小光学器33によって縮小され、合成光学系4の各ダイクロイックミラー4R、4G、4Bに入射

る。赤色LEDアレイ20Rからの赤色光Lrは、ダイクロイックミラー4Rで反射し、緑色LEDアレイ20Gからの緑色光Lgは、ダイクロイックミラー4Gで反射してダイクロイックミラー4Rを透過し、青色LEDアレイ20Bからの青色光Lbは、ダイクロイックミラー4Bで反射し、ダイクロイックミラー4Gおよびダイクロイックミラー4Rを透過し、空間光変調部5の2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50にそれぞれ入射する。一方、制御部10は、各色の画像信号Sr、Sg、Sbに同期して空間光変調部ドライバー9を制御し、空間光変調部5の2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50にてR、G、Bの3色光Lr、Lg、Lbを時系列的に空間変調させる。すなわち、LEDアレイ20R、20G、20Bからの3原色光Lr、Lg、Lbを有効反射光とする場合は、制御部10は、Rの画像信号Srが入力されると、赤色光Lrに画像信号Srを構成する画素信号に応じて反射光量が変化する空間変調を2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50にて画素毎に施し、Gの画像信号Sgが入力されると、緑色光Lgに画像信号Sgを構成する画素信号に応じて反射光量が変化する空間変調を2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50にて画素毎に施し、Bの画像信号Sbが入力されると、青色光Lbに画像信号Sbを構成する画素信号に応じて反射光量が変化する空間変調を2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50にて画素毎に施す。このとき、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50は、LEDアレイ20R、20G、20Bからの3原色光Lr、Lg、Lbを有効反射光とする場合は、3原色光Lr、Lg、Lbを投影光学系7に反射し、無効反射光とする場合は、3原色光Lr、Lg、Lbをストッパー51に反射する。2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50によって有効反射光として空間変調されたR、G、Bの画像信号光5r、5g、5bは、投影光学系7によってスクリーン6に拡大投影される。このようにして、フルカラー画像がスクリーン6に大画面で表示される。

【0032】次に、上記第1の実施の形態に係るプロジェクタ装置1の効果を説明する。

(イ) 光利用効率が向上し、明るい表示画面が得られる。R、G、Bの各色別の光源を用いているので、色分離が不要となり、色分離時の光損失を避けることができる。このため、従来の光源に比べて集光効率と色合成効率の積を0.77と従来の3倍以上に高めることが可能になる。また、指向性良く集光できるため、投影光学系7の投影効率を85%以上に高くできる。この結果、この装置1の光学系における光透過効率は、発光素子アレイ部2および整形光学系3では90%、合成光学系4では85%、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50の反射率は90%、投影光学系7では85%であるので、総合的光利用効率は約58%と従来の約6倍以上に向上した。また、R、G、BのLED22の出力光の波長、色度座

標、およびパルス光出力が、それぞれ650nm:

(0.7, 0.28): 30mW, 520nm: (0.17, 0.7): 10.5mW, 450nm: (0.13, 0.075): 6mWであるので、合成白色光の色度座標は(0.36, 0.37)で僅かに黄色味がかった白色となり、全アレイ20R, 20G, 20Bで約650lm、投影光束である画像信号光5r, 5g, 5bとして380lmの明るさが得られた。なお、各R, G, BのLED22の点灯時間を多少変えることで、色度座標の中心を変えることができる。例えば、Bの光の時間を長くすることで色度座標の中心(0.33, 0.33)にシフトさせることも可能である。

【0033】(ロ) 低消費電力化を達成でき、小型化が図れる。LED(22)1個当たりの消費電力は、R, G, Bそれぞれ120mW, 165mW, 210mW(電流は各60mA)、各アレイ20R, 20G, 20Bの点灯デューティ比を27%とすることにより、全消費電力は30W以下と従来の1/10になった。LED(22)1個当たりの動作電圧は2~3.6Vであり、LEDアレイ20R, 20G, 20Bの動作電圧と電流を扱い易い値(<100V, <1A)に抑えるために、LEDアレイ20R, 20G, 20B中のLED22を行単位(16個)を直列に配線し、かつ、各行を並列に配線しているので、アレイ20R, 20G, 20B毎の動作電圧と電流は、それぞれ40~80V, 0.5Aとなった。また、各LEDアレイ20R, 20G, 20Bは、水平ブランキング(NTSC信号では約13%)と垂直ブランキング(8%)の期間は消灯した。これにより、約2割の電力と発熱量の低減が図られ、LEDアレイ20R, 20G, 20Bの全消費電力を更に抑えることができる。また、単一の空間光変調器を用いているので、プロジェクタ装置の小型化が図れる。

【0034】(ハ) 光源の長寿命化が図れる。光源であるLED22の寿命は1万時間以上と、ハロゲンランプ等の10倍以上であるため、光源の大幅な長寿命化が図れ、8時間/日程度の使用頻度で4年近く継続して使用可能になる。

【0035】(ニ) コスト低減が図れる。LED22の価格は10~数十円/個であり、アレイ全体では数千円~1万円と若干従来の光源(千数百円)に比べて割高となるが、この間まったくランプの交換が要らないこと、消費電力が1/10であることや安全性などを考慮すれば、光源のコストが1桁高くても十分見合うものである。

【0036】なお、上記実施の形態では、空間光変調器として、単一の2次元マイクロ偏向ミラーアレイを使用した。が、強誘電体液晶を用いた反射型や透過型の空間光変調器を用いても同様の効果の得られることは言うまでもない。また、ネマチック液晶や分散型液晶を用いた反射型や透過型の空間光変調器においても、変調速度が数十

ミリ秒と遅いため、画像のちらつきが生じるがやはり同様の効果を得ることができる。また、上記実施の形態では、発光素子アレイとして、R, G, Bの出力光を出射するものを用いたが、このうちの2色、あるいは他の2色以上の組合せでもよい。2色の出力光を用いた場合に、2色とその混色で画像信号光を時系列的に表示してもよい。

【0037】図6は、本発明の第2の実施の形態に係るプロジェクタ装置を示す。この第2の実施の形態に係るプロジェクタ装置1は、発光素子アレイ部2に、直線偏光の赤色レーザ光Lr'、緑色レーザ光Lg'、青色レーザ光Lb'を発光する面発光レーザ(VCSEL)アレイ24R, 24G, 24Bを用い、整形光学系3に拡大光学器34を用いたものであり、他は第1の実施の形態と同様に構成されている。

【0038】VCSELアレイ24は、VCSEL素子を単一のGaAs基板上に直径15μmのVCSEL素子を配列ピッチ60μmで2次元アレイ状に191(12×16)個配列し、アレイサイズを約5.5×7.5mmとしたものである。また、一般に、VCSELアレイ中の各VCSEL素子は、陰極が共通で陽極が個別電極を有するように形成されているが、本実施の形態のVCSELアレイ24は、VCSEL素子の陽極を行単位で直列に接続し、かつ、各行を並列に接続している。

【0039】図8(a), (b)は、G用のVCSELアレイ24Gを示す。G用のVCSELアレイ24Gは、同図(a)に示すように、GaAs基板240の上に、GaInP系の化合物半導体で形成されたVCSEL素子241を2次元アレイ状に複数個配列したものであり、VCSEL素子241の陽極は、ストライプ状のAu配線により行単位で直列に接続され、かつ、各行を並列に接続するようにp型電極242が形成されている。このp型電極242には、各VCSEL素子241に対応する位置に発光孔242aを形成している。また、VCSELアレイ24Gは、同図(b)に示すように、GaAs基板240の下に各VCSEL素子241の共通の陰極となるn型電極243を形成し、GaAs基板240の上に、n型ミラー層244、n型クラッド層245、活性層246、p型クラッド層247、p型ミラー層248、プロトン注入領域249が形成されている。なお、同図において250はワイアボンディング用パッドであり、放熱フィン兼ねたアルミ合金製のホルダー(図示省略)に直接ボンディングすることにより、放熱特性を高めている。

【0040】また、G用およびB用のVCSELアレイ(図示省略)の場合は、VCSEL素子はGaInN系の化合物半導体で形成されており、基板にはサファイアが使用されている。この材料は絶縁性であるため、各素子の陰極は陽極と同様にAu配線により行毎に接続され、G用のVCSELアレイと同様に、放熱フィンを兼

ねたアルミ合金製のホルダーに直接ボンディングすることにより、放熱特性を高めている。また、並列信号処理用のVCSELでは、各素子を独立に駆動する必要性から各素子の陽極は個別にパッドを介してアレイ外部の電極と接続されるが、本実施の形態に示す用途では全素子が同時にオンオフされるのでこのように行毎に接続することが可能であり、またこれにより、配線面積が減らせると共に素子間隔を狭めること、および配線抵抗を下げる事が可能となった。本用途では、素子あたりの消費電力が信号処理用に比べて大きいので、このことは発熱を防ぎ、信頼性を高める上で重要である。

【0041】整形光学系3は、VCSELアレイ24R、24G、24BからのR、G、Bのレーザ光 L_r' 、 L_g' 、 L_b' を平行光に整形する2次元のマイクロレンズアレイ30と、マイクロレンズアレイ30によって整形されたR、G、Bのレーザ光 L_r' 、 L_g' 、 L_b' を2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50の画素範囲(7.7×10.2mm)に対応して拡大する、凹レンズ32および凸レンズ31を組み合わせる構成された拡大光学器34とを備えている。また、マイクロレンズアレイ30とVCSELアレイ24R、24G、24Bとの距離は、マイクロレンズアレイ30の各マイクロレンズの焦点距離とほぼ等しく、1.4mmとしている。なお、マイクロレンズアレイ30の代わりにホモジナイザを用いてもよい。

【0042】制御部10は、第1の実施の形態と同様に、図6(a)に示すように、R、G、Bの画像信号 S_r 、 S_g 、 S_b が入力されると、その入力のタイミングに同期して1フレーム間にVCSELアレイ24R、24G、24Bが所定のデューティ比(約1/3)で時系列的に点灯するように発光素子アレイ部ドライバー8に対する点灯制御を行うとともに、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50が時系列的に偏向を行うように空間光変調部ドライバー9に対する光量制御を行うものである。この光量制御により多階調(フルカラー)の画像表示が可能になる。また、制御部10は、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50における水平および垂直ブランキング期間は、VCSELアレイ24R、24G、24Bを消灯するように発光素子アレイ部ドライバー8を制御するようになっている。VCSELアレイ中の各VCSEL素子の間隔が発振領域に比べて十分大きい場合には、横モードの高次化によって最大出力が抑えられているが、発振領域の3倍程度まで素子の間隔を狭めると、むしろ発熱の影響が強くなる。VCSELの場合、GaAs基板あるいはGaN基板上に作製されるため、低価格化のためには素子間隔を近づけ、素子収量を上げるのが好ましく、また、LED22のような光取り出し用のエポキシのドームは必要としないことから、素子間隔を近づけることが可能である。従って、VCSELアレイ24R、24G、24Bにおいても実用上は光出力は発熱に

より抑えられ、オンオフ点灯が出力効率の改善と高光出力化に有効となる。なお、端面発光型のレーザでは、最大出力は共振器を形成する端面の光損傷(Catastrophic Optical Damage)で抑えられており、20~30%のデューティ比のパルスでは、CWに比べてあまり出力の増大は期待されない。

【0043】次に、上記構成の第2の実施の形態に係るプロジェクタ装置1の動作を説明する。VCSELアレイ24R、24G、24Bから時系列的に出射されたR、G、Bのレーザ光 L_r' 、 L_g' 、 L_b' は、拡大光学器34により2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50の画素範囲に拡大し、ダイクロイックミラー4R、4G、4Bで合成された後、空間光変長部5に入射する。空間光変長部5において各色の画像信号 S_r 、 S_g 、 S_b に応じて偏向された画像信号光 5_r 、 5_g 、 5_b は、投影光学系7によりスクリーン6に拡大投影される。

【0044】次に、上記第2の実施の形態に係るプロジェクタ装置1の効果を説明する。

(i) 光利用効率が向上し、明るい表示画面が得られる。
この装置1の光学系における光透過効率、VCSELアレイ24R、24G、24Bおよび整形光学系3では90%、合成光学系4では85%、2次元マイクロ偏向ミラーアレイ50の反射率は90%、投影光学系7では85%であるので、総合の光利用効率は第1の実施の形態と同様に約58%となった。また、各R、G、BのVCSEL素子の出力光の波長、色度座標、およびパルス光出力は、それぞれ650nm:(0.7、0.28):30mW、520nm:(0.17、0.7):30mW、450nm:(0.13、0.075):30mWであり、合成白色光の色度座標は(0.34、0.35)であり、標準に近い白色となり、VCSELアレイ24R、24G、24Bで1200lm、投影光束である画像信号光 5_r 、 5_g 、 5_b で700lmの明るさが得られた。VCSELは、光出力は発熱の影響の外に、横モードのマルチビーム化によっても限定される。これは、光出力の増大に連れてビーム中心部へのキャリアの供給が間に合わなくなり、その部分の利得が周辺部の利得よりも低下することにより、より周辺部の光強度の強い高次の横モードが発振しやすくなるためである。

【0045】(ii) 低消費電力化を達成でき、小型化が図れる。また、VCSEL素子の1個当たりの動作電圧は2.5~3V、動作電流値は約80mAであり、全消費電力は約40W弱に抑えられる。VCSELアレイ24のVCSEL素子の陽極を行単位で直列に接続し、かつ、各行を並列に接続しているので、第1の実施の形態と同様に全電圧を適当な値(1A以下、100V以下)に抑えることができた。また、第1の実施の形態と同様に、VCSELアレイ24R、24G、24Bは、水平および垂直ブランキング期間は消灯した。この結

果、第1の実施の形態と同様に約2割の消費電力と発熱の低減が図れ、VCSELアレイ24の消費電力は30Wと従来の約1/10に抑えられた。また、光源面積を微小化でき、単一の空間光変調器を用いているので、プロジェクタ装置の小型化が図れる。

【0046】(h) 光源の長寿命化が図れる。第1の実施の形態と同様に、光源であるVCSEL素子の寿命は1万時間以上と従来の10倍以上であるため、光源の大幅な長寿命化が図れ、途中での光源の交換が不要となった。

【0047】(i) コスト低減が図れる。3インチウェハを用いても、1枚のウェハからVCSELアレイを100個程度作製でき、数千円以下への低価格化が可能である。

【0048】なお、レーザダイオードを画像表示に使用した場合、出力光の可干渉長さが長いために、スペックルノイズや眼球による網膜への集光が問題となるが、2次元マイクロ偏向ミラーアレイの各画素がレーザ光 L_r' 、 L_g' 、 L_b' に対して位相シフトとして働くため、画素間での干渉性が薄れることから、本実施の形態では問題とならなかった。また、本実施の形態では2次元の面発光レーザアレイを使用した。小型のプロジェクタ装置の場合には、1次元の面発光レーザアレイを用いてもその出力光をシリンドリカルレンズなどにより2次元に拡大することで実現可能である。

【0049】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明によれば、光源の出力光が指向性を有しているので、光利用効率の大幅な改善を図ることができ、明るい表示画面が得られ、光源に発光効率の高い半導体発光素子を用いているので、低消費電力化が達成できる。また、光利用効率が高くなり、低消費電力化が図れることから、光源の長寿命化が図れる。さらに、単一の空間光変調手段を用いているので、小型化が図れる。この結果、家庭や小会議室等への普及が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るプロジェクタ装置の構成図である。

【図2】第1の実施の形態に係るLEDの出力光の指向性を示す図である。

【図3】第1の実施の形態に係る発光素子アレイ部と整形光学系との関係を示す図である。

【図4】第1の実施の形態に係る縮小光学器の詳細を示す図である。

【図5】第1の実施の形態に係る空間光変調部の詳細を示す図である。

【図6】(a)は本装置各部の動作タイミングを示す図、(b)はLEDの印加可能電流のパルスデューティ比に対する依存性を示し、(c)はLEDの入力電流に対する出力特性を示す図である。

【図7】本発明の第2の実施の形態に係るプロジェクタ装置の構成図である。

【図8】(a)は第2の実施の形態に係るG用のVCSELアレイの正面図、(b)はその断面図である。

【図9】従来のプロジェクタ装置の構成図である。

【符号の説明】

- 1 プロジェクタ装置
- 2 発光素子アレイ部
- 20R 赤色LEDアレイ
- 20G 緑色LEDアレイ
- 20B 青色LEDアレイ
- 21 マスク
- 21a 開口部
- 22 LED
- 22a 光量分布
- 22b 出力光
- 23 基板
- 24R, 24G, 24B 面発光レーザ(VCSEL)アレイ
- 20 GaAs基板
- 241 VCSEL素子
- 242 p型電極
- 242a 発光孔
- 243 n型電極
- 244 n型ミラー層
- 245 n型クラッド層
- 246 活性層
- 247 p型クラッド層
- 248 p型ミラー層
- 30 プトン注入領域
- 250 ワイヤボンディング用パッド
- 3 整形光学系
- 30 マイクロレンズアレイ
- 30a マイクロレンズ
- 30b, 33a 平行光
- 31 凸レンズ
- 32 凹レンズ
- 33 縮小光学器
- 34 拡大光学器
- 40 合成光学系
- 4R, 4G, 4B ダイクロイックミラー
- 5 空間光変調部
- 50 2次元マイクロ偏向ミラーアレイ
- 51 ストップパ
- 52 マイクロ偏向ミラー
- 53 半導体基板
- 54 ピボット
- 5r, 5g, 5b 画像信号光
- 6 スクリーン
- 50 7 投影光学系

17

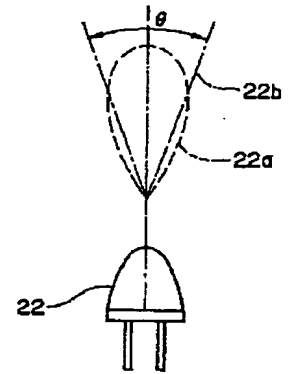
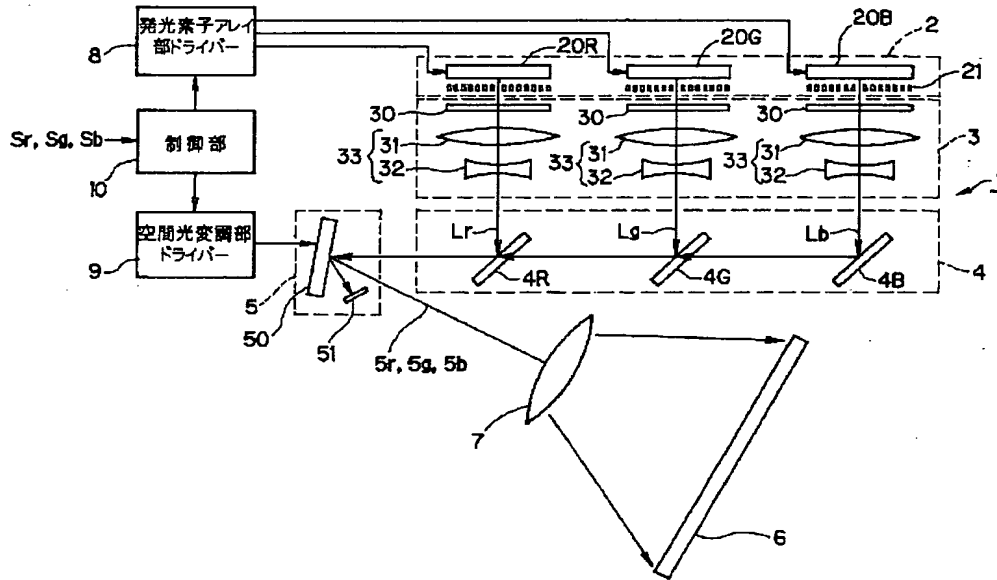
18

8 発光素子アレイ部ドライバー
 9 空間光変調部ドライバー
 10 制御部
 D₁ 距離
 L_r 赤色光
 L_r' 赤色レーザー光
 L_g 緑色光

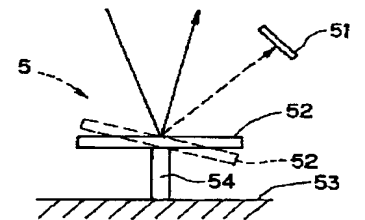
L_g' 緑色レーザー光
 L_b 青色光
 L_b' 青色レーザー光
 S_r, S_g, S_b 画像信号
 W 開口数
 θ 広がり角

【図 1】

【図 2】



【図 5】



【図 3】

【図 4】

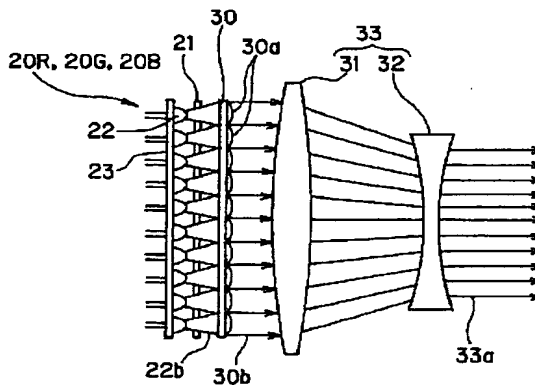
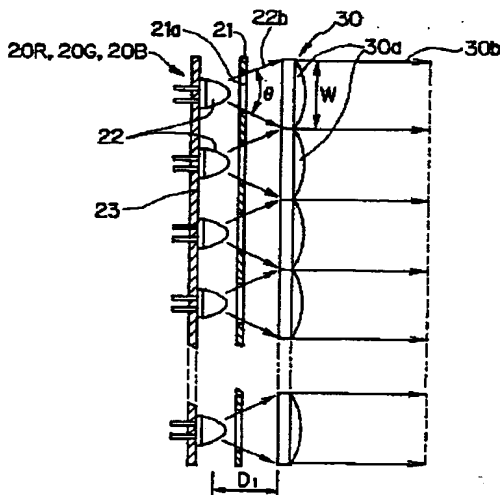
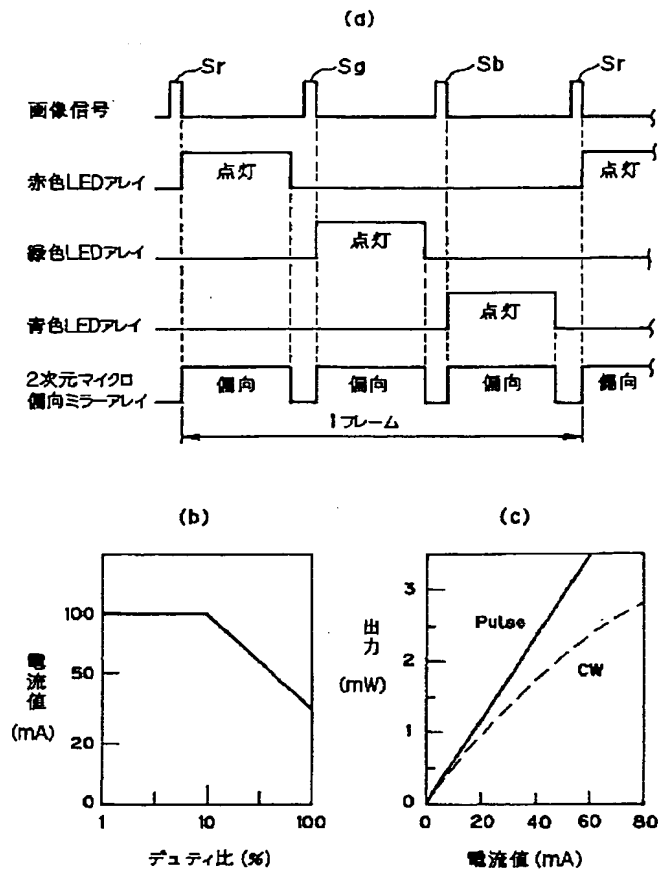
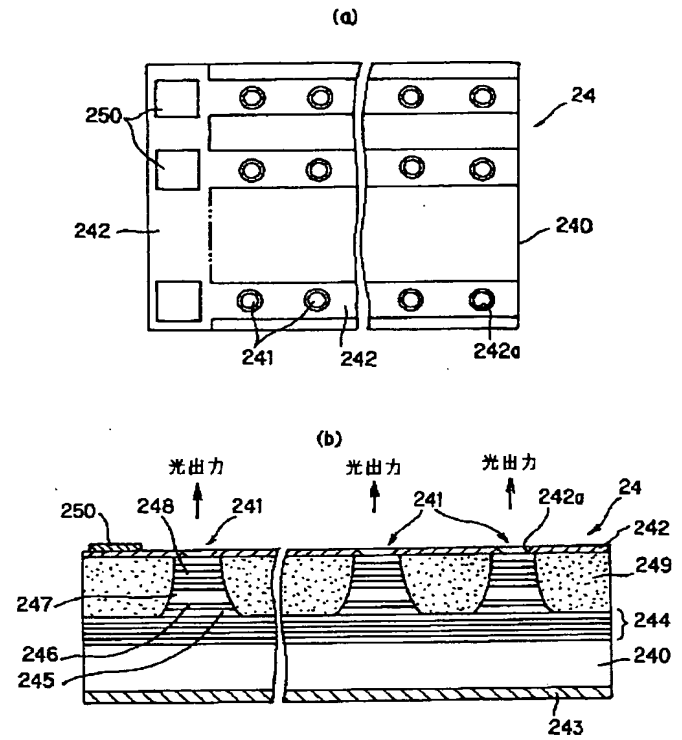


図 1 は、本発明の光学装置の構成を示すブロック図である。
 (a) は、図 1 の光素子アレイ部 20 の構成を示す図である。
 (b) は、図 1 の空間光変調部 30 の構成を示す図である。
 (c) は、図 1 の制御部 10 の構成を示す図である。
 (d) は、図 1 の光素子アレイ部 20 の駆動特性を示す図である。

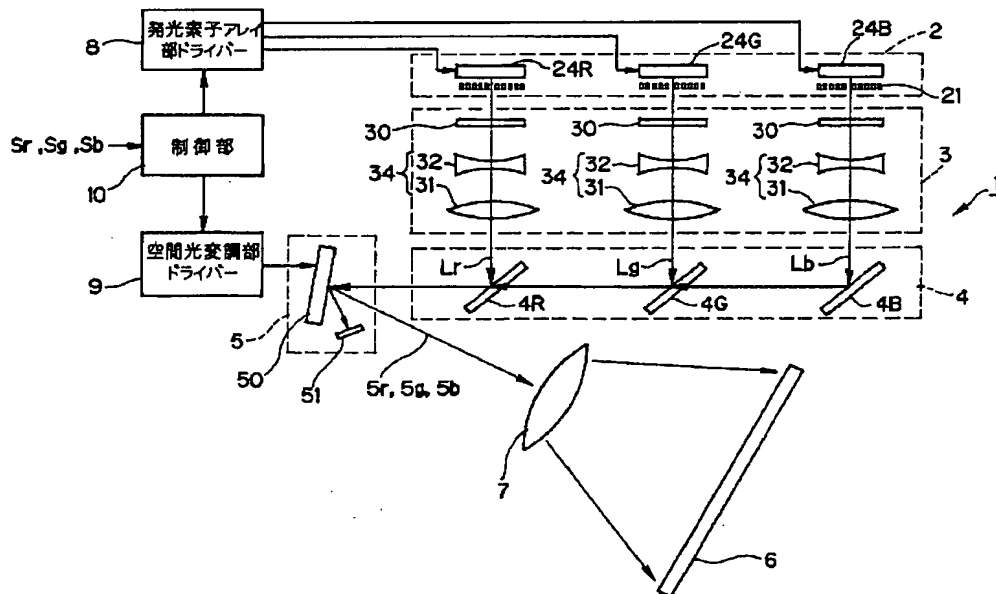
【図6】



【図8】



【図7】



【図 9】

